

PENETAPAN PARAMETER PROSES PEMBUATAN BAHAN BAKAR UO_2 SERBUK HALUS YANG MEMENUHI SPESIFIKASI BAHAN BAKAR TIPE PHWR

Abdul Latief

Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir - BATAN
Kawasan PUSPIPTEK Serpong, Tangerang Selatan 15314, Banten
e-mail: abtieff@yahoo.com

(Diterima 22-3-2010, disetujui 23-4-2010)

ABSTRAK

PENETAPAN PARAMETER PROSES PEMBUATAN BAHAN BAKAR UO_2 SERBUK HALUS YANG MEMENUHI SPESIFIKASI BAHAN BAKAR TIPE PHWR. Telah dilakukan pembuatan pelet UO_2 untuk bahan bakar tipe PHWR dengan parameter proses meliputi tekanan pengompakan $2,93 - 5,27 \text{ ton/cm}^2$ dan suhu sinter $1000 - 1200^\circ\text{C}$ dengan laju pemanasan 250°C/jam dan waktu sinter 3 jam dalam suasana gas argon. Tujuannya adalah untuk mendapatkan tekanan pengompakan dan suhu sinter yang optimum sehingga bahan bakar tersebut memenuhi spesifikasi bahan bakar UO_2 yang telah ditetapkan. Lingkup kegiatan penetapan parameter proses pembuatan bahan bakar UO_2 tipe PHWR mencakup pengompakan pelet UO_2 dari serbuk halus pada tekanan $2,93 - 5,27 \text{ ton/cm}^2$ dan sintering pelet UO_2 pada suhu $1000 - 1200^\circ\text{C}$ dengan laju pemanasan tetap yakni 250°C/jam dan waktu sinter 3 jam. Metode yang dipakai untuk menetapkan tekanan pengompakan dan suhu sinter yang tepat adalah melalui penentuan densitas pelet UO_2 hasil pengompakan pada tekanan yang bervariasi, densitas pelet sinter pada tekanan pengompakan dan variasi suhu sinter, diameter butir pelet UO_2 hasil sinter dengan mikroskop optik dan SEM, dan rasio O/U pelet UO_2 hasil sinter. Data yang diperoleh kemudian dikorelasikan dengan spesifikasi bahan bakar yang telah ditetapkan untuk mendapatkan tekanan pengompakan dan suhu sinter yang optimum. Hasil menunjukkan bahwa parameter proses pembuatan bahan bakar UO_2 tipe PHWR dari serbuk halus $38 - 75 \mu\text{m}$ yang memenuhi spesifikasi densitas pelet sinter 95% densitas teoritis, diameter butir pelet sinter $6 - 8 \mu\text{m}$, dan rasio O/U $2,00 \pm 0,015$ adalah tekanan pengompakan 4,10 dan $4,68 \text{ ton/cm}^2$ dan suhu sinter 1200°C pada laju pemanasan 250°C/jam dan waktu sinter 3 jam.

KATA KUNCI: bahan bakar UO_2 , PHWR

ABSTRACT

DETERMINATION OF PROCESS PARAMETERS FOR PREPARING UO_2 FUEL FROM FINE POWDER THAT SATISFIES PHWR FUEL SPECIFICATIONS. Preparation of UO_2 pellets of PHWR type has been performed with process parameters comprising compacting pressures of $2.93 - 5.27 \text{ ton/cm}^2$ and sintering temperatures of $1000 - 1200^\circ\text{C}$ with a heating rate

of 250 °C/h and sintering time of 3 h in an argon atmosphere. The objective was to obtain the optimum compacting pressure and sintering temperature in order to satisfy the specifications established for UO_2 fuel. The scope of the determination of the process parameters for preparing UO_2 pellets of PHWR type involved compacting UO_2 pellets from fine powder at pressures of 2.93 – 5.27 ton/cm², and sintering UO_2 pellets at temperatures of 1000 – 1200 °C with a fixed heating rate of 250 °C/h and sintering time of 3 h. The method employed to acquire the correct compacting pressure and sintering temperature was by determining the density of UO_2 pellets obtained at different compacting pressures, the density of sintered UO_2 pellets obtained at the corresponding compacting pressure and varied sintering temperatures, the grain diameter of sintered UO_2 pellets using optical microscopy and SEM, and the O/U ratio of sintered UO_2 pellets. The data were then correlated with the fuel specifications to establish the optimum compacting pressure and sintering temperature. The results showed that the process parameters for preparing UO_2 fuel of PHWR type from fine powder of 38 – 75 µm that meets the specifications of sintered pellet density of 95% theoretical density, grain diameter of sintered pellet of 6 – 8 µm, and O/U ratio of 2.00 ± 0.015 were compacting pressures of 4.10 and 4.68 ton/cm² and sintering temperature of 1200 °C with a heating rate of 250 °C/h and sintering time of 3 h.

FREE TERMS: UO_2 fuel, PHWR

I. PENDAHULUAN

Bahan bakar UO_2 merupakan bahan bakar utama untuk Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) tipe reaktor berpendingin air ringan seperti *Pressurized Water Reactor* (PWR) atau tipe reaktor berpendingin air berat seperti *Pressurized Heavy Water Reactor* (PHWR)^[1]. Dalam pembuatan bahan bakar UO_2 untuk PHWR, khususnya tipe CANDU, diperlukan tahapan proses yaitu penyiapan serbuk UO_2 , pra-kompaksi, penghancuran pelet menjadi serbuk UO_2 , pengompakan pelet UO_2 , sintering dan *finishing*^[2].

Permasalahan utama dalam pembuatan bahan bakar UO_2 adalah variasi tekanan pengompakan dan suhu sinter, dimana keduanya saling mempengaruhi. Tekanan pengompakan akan berdampak pada hasil sintering sehingga kualitas pelet UO_2 akhir sangat tergantung pada densitas pelet awal, meski parameter sintering juga mempengaruhi kualitas pelet sinter^[3]. Sedangkan kualitas pelet sinter yang ditetapkan adalah densitas pelet sinter UO_2 95% densitas teoritis (TD, *Theoretical Density*), diameter butir 6 – 8 µm dan rasio O/U sebesar $2,00 \pm 0,015$.

Pembuatan pelet sinter UO_2 yang telah dilakukan di antaranya pelet UO_2 dari serbuk ukuran 150 – 1000 µm murni atau dicampur dengan aditif

10% U_3O_8 , 4% TiO_2 , atau lainnya. Penambahan aditif tersebut dimaksudkan untuk memperbaiki kualitas pelet UO_2 sinter atau dalam rangka efisiensi ekonomi karena suhu proses dapat diturunkan sampai beberapa ratus derajat. Dalam pembuatan pelet tersebut di atas, tekanan pengompakan dan suhu sinter sangat mempengaruhi kualitas pelet UO_2 yang dihasilkan. Tekanan pengompakan berkisar antara 2,50 – 5,00 ton/cm² dan suhu sinter berkisar antara 1500 – 1700 °C^[3].

Percobaan lain yang telah dilakukan adalah pembuatan bahan bakar UO_2 berbutir antara 150 – 1000 μm dengan ditambah racun dapat bakar (*burnable poison*) seperti Gd_2O_3 , Nb_2O_5 , Er_2O_3 dan Eu_2O_3 dalam jumlah relatif kecil yaitu di bawah 5%. Tujuan penambahan racun dapat bakar adalah untuk memperbaiki reaktivitas bahan bakar dalam reaktor serta memperbaiki kualitas pelet yang dihasilkan^[4]. Parameter proses yang mempengaruhi di antaranya tekanan pengompakan, suhu sinter, waktu sinter dan laju pemanasan sintering. Tekanan pengompakan berkisar antara 2,50 – 5,00 ton/cm², dan suhu sinter antara 1500 – 1700 °C^[5]. Dalam pembuatan bahan bakar tersebut di atas, spesifikasi yang diharapkan adalah densitas pelet mentah UO_2 antara 50 – 56% TD, densitas pelet sinter UO_2 95% TD, diameter butir pelet UO_2 antara 6 – 8 μm dan rasio O/U $2,00 \pm 0,015$.

Pengompakan juga dilakukan terhadap UO_2 berdiameter butir di bawah 150 μm dan di atas 1000 μm pada tekanan 2,50 – 5,00 ton/cm², sintering pada suhu 1500 – 1700 °C dengan spesifikasi pelet sinter UO_2 yang diinginkan memiliki densitas 95% TD, diameter butir 6 – 8 μm , rasio O/U $2,00 \pm 0,015$. Namun hasil pelet yang diperoleh kurang baik karena pelet yang dihasilkan sering pecah, terutama pada tekanan rendah^[3].

Dalam penelitian untuk menetapkan parameter proses pengompakan dan sintering UO_2 dari serbuk halus antara 38 – 75 μm dengan komposisi butir <38 mikron sebesar 30 – 35%; antara 38 – 53 μm sebesar 25 – 30%; antara 53 – 63 μm sebesar 30 – 35%; dan antara 63 – 75 μm sebesar 7 – 10%. Kemudian serbuk dikompaksi dengan tekanan pengompakan 2,93 – 5,27 ton/cm² dan disinter pada suhu 1000 – 1200 °C dengan waktu sinter 3 jam dan laju pemanasan 250 °C/jam dalam lingkungan gas argon. Sintering terhadap serbuk halus UO_2 dalam kondisi gas argon memungkinkan suhu sinter dapat diturunkan menjadi sekitar 1200 °C^[5]. Kemudian ditetapkan spesifikasi pelet UO_2 sinter sama seperti spesifikasi dalam lingkungan gas hidrogen, yaitu densitas pelet sinter 95% TD, diameter butir 6 – 8 μm , dan rasio O/U $2,00 \pm 0,015$. Untuk mendapatkan spesifikasi tersebut, maka tekanan

pengompakan dan suhu sinter divariasi, untuk selanjutnya menetapkan parameter proses yang optimum.

Jika tekanan pengompakan divariasikan antara 2,93 – 5,27 ton/cm², diharapkan densitas pelet yang diperoleh mengalami kenaikan seiring dengan naiknya tekanan pengompakan. Namun pada tekanan tertentu densitas akan menurun sejalan dengan naiknya tekanan pengompakan. Hal ini terjadi karena adanya tegangan sisa akibat pengompakan berlebih sehingga pelet rusak, retak dan atau pecah. Hasil pengompakan yang optimum atau densitas pelet yang tinggi yang diperoleh tidak harus sejalan dengan naiknya densitas pelet sinter. Hal ini dikarenakan adanya kemungkinan untuk terjadi pergeseran karena adanya pembatasan tekanan pengompakan. Sedangkan variasi suhu sinter sangat mempengaruhi densitas pelet sinter, besar butir dan rasio O/U. Sintering sampai suhu tertentu akan menyebabkan densitas naik sejalan dengan kenaikan suhu sampai batas tertentu, dan kenaikan suhu juga mempengaruhi besar butir dan rasio O/U pelet sinter. Dengan demikian, tekanan pengompakan dan suhu sinter perlu diketahui secara pasti agar pembuatan bahan bakar ini efisien guna mendapatkan hasil yang memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan.

Untuk memperoleh pelet UO₂ yang diinginkan, maka perlu dilakukan pendekatan penyelesaian, di antaranya pembuatan pelet UO₂ dengan variasi tekanan (P) dan suhu (T) yang kemudian diuji dengan melakukan pengukuran densitas pelet mentah/sinter dengan metode gravimetri, pengamatan mikrostruktur dengan mikroskop optik dan SEM (*Scanning Electron Microscope*). Sedangkan perhitungan besar butir dilakukan dengan metode Heyn dan pengukuran rasio O/U dengan metode gravimetri. Kemudian data uji yang ada digunakan untuk membuat grafik pengaruh parameter proses terhadap kualitas hasil seperti densitas pelet mentah/sinter, besar butir, dan rasio O/U. Dari sini akan ditetapkan parameter optimum yang memenuhi spesifikasi produk sesuai dengan yang telah ditetapkan dengan cara matematis (penjumlahan grafik).

II. TATA KERJA

Bahan yang dipakai dalam penelitian adalah serbuk halus UO₂ dengan ukuran antara 38 – 75 µm, seng stearat, dan gas argon. Peralatan yang digunakan di antaranya *micronizer*, *mixer*, alat pengompak serbuk, tungku sinter, *microhardness tester*, timbangan, sketmat, mikroskop optik dan SEM.

Pada awalnya UO₂ dihaluskan dengan alat *micronizer*, kemudian diambil butir yang berdiameter antara 38 – 75 µm dengan komposisi butir 38 µm sebesar 30 – 35%; 38 – 53 µm sebesar 25 – 30%; 53 – 63 µm sebesar

30 – 35%; dan 63 – 75 μm sebesar 7 – 10%. Serbuk kemudian dicampur dengan seng stearat sebanyak 0,2% dalam *mixer* yang diputar selama 30 menit, dikompaksi menjadi pelet pada tekanan 2,93 – 5,27 ton/cm^2 , disinter dalam tungku sinter pada suhu antara 1000 – 1200 $^{\circ}\text{C}$, dimana laju kenaikan suhu dibuat tetap yaitu 250 $^{\circ}\text{C/jam}$ dengan waktu sinter 3 jam dalam suasana gas argon. Terhadap hasil yang diperoleh, dilakukan pengukuran densitas untuk UO_2 mentah/sinter, pengamatan mikroskop optik untuk mengetahui besar butir dengan metode Heyn dan uji kekerasan, dan pengukuran rasio O/U dengan metode gravimetri.

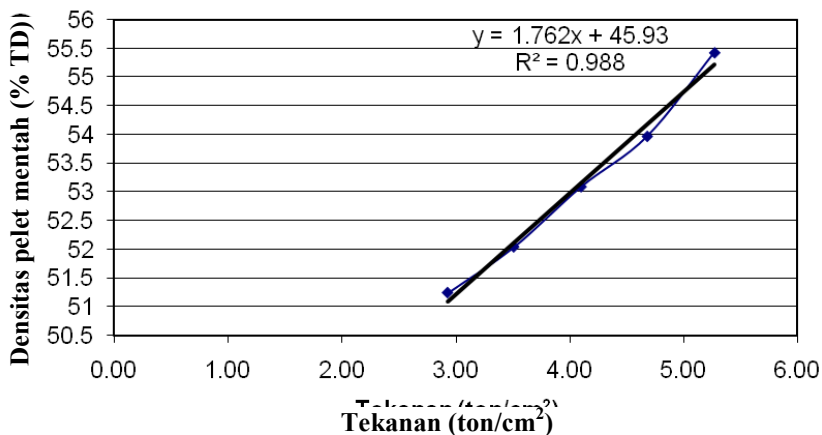
Optimasi parameter proses pengompakan dan sintering dilakukan dengan membandingkan hasil uji (densitas pelet mentah/sinter, besar butir, kekerasan dan rasio O/U) dengan spesifikasi yang sudah ditetapkan, kemudian dijumlahkan secara matematis (penjumlahan).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 1, 2, 3, 4, 5 atau Gambar 1, 2, 3, 4, 5, yang meliputi besaran densitas pelet mentah, densitas pelet sinter, besar butir, kekerasan dan rasio O/U.

3.1. Optimasi Tekanan Pengompakan

Pengaruh tekanan pengompakan terhadap densitas pelet mentah UO_2 dapat dilihat pada Gambar 1. Terlihat bahwa kenaikan tekanan pengompakan sejalan dengan kenaikan densitas pelet UO_2 mentah yang dihasilkan. Tekanan pengompakan 2,93 – 5,27 ton/cm^2 dapat memberikan perubahan kualitas pelet mentah, terutama densitas yang mengalami kenaikan menjadi 51,24 – 55,60% TD. Kenaikan densitas pelet mentah ini disebabkan adanya peningkatan tekanan pengompakan sehingga pelet yang terbentuk semakin padat, dimana ikatan antar butir menjadi kompak. Dalam spesifikasi produk yang dianjurkan tekanan pengompakan antara 52 – 56% TD. Melihat spesifikasi densitas pelet mentah tersebut, dapat diasumsikan bahwa tekanan pengompakan yang direkomendasikan adalah antara 3,51 – 5,27 ton/cm^2 .

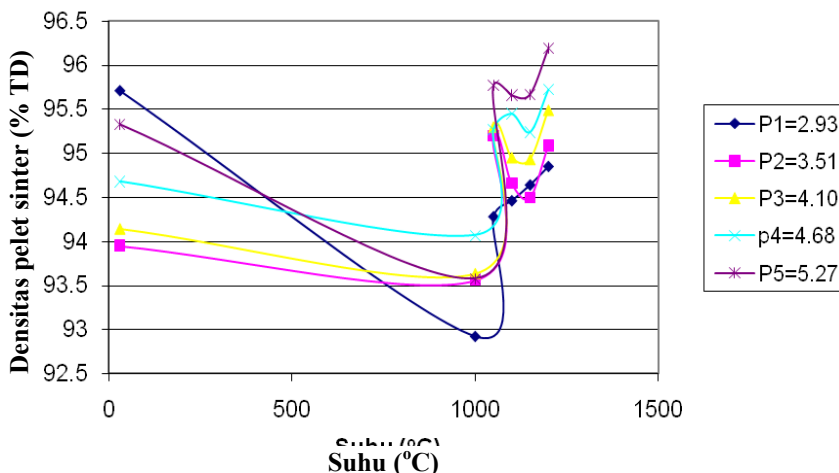


Gambar 1. Pengaruh tekanan pengompakan terhadap densitas pelet mentah.

3.2. Optimasi Suhu Sinter yang Mempengaruhi Densitas Pelet Sinter pada Berbagai Tekanan Pengompakan (P)

Suhu sinter dapat mempengaruhi besarnya densitas pelet sinter pada berbagai variasi tekanan pengompakan pelet mentah. Gambaran besarnya densitas pelet sinter pada berbagai tekanan pengompakan pelet mentah sebagai akibat kenaikan suhu 1000 – 1200 °C dapat dilihat pada Gambar 2. Tampak densitas pelet sinter naik sejalan dengan kenaikan suhu sinter pada berbagai tekanan pengompakan. Pada tekanan pengompakan yang lebih tinggi pada suhu sinter yang sama, densitas pelet sinter akan lebih tinggi jika dibandingkan dengan tekanan pengompakan pelet mentah yang lebih rendah. Hal ini juga berlaku untuk pelet pra-sinter. Ini disebabkan tekanan pengompakan yang lebih tinggi memberikan kepadatan yang lebih tinggi, sedangkan dengan kenaikan suhu sinter, pelet menjadi lebih padat.

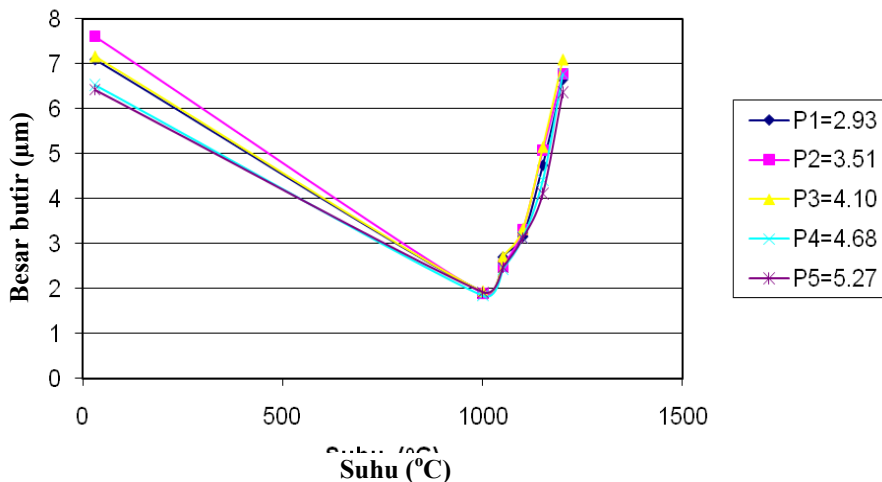
Dari spesifikasi pelet sinter yang ditetapkan, densitas pelet sinter adalah sebesar 95% TD. Dari data yang diperoleh, densitas 95% TD dapat dicapai pada suhu sinter sebesar 1050 – 1200 °C pada tekanan pengompakan pelet mentah antara 4,10 – 4,68 ton/cm² yang dapat memberikan densitas pelet sinter sekitar 95% TD.



Gambar 2. Pengaruh tekanan pengompakan terhadap densitas pelet sinter pada berbagai suhu sinter.

3.3. Optimasi Suhu Sinter yang Mempengaruhi Besar Butir pada Berbagai Tekanan Pengompakan (P)

Suhu sinter dapat mempengaruhi besarnya diameter butir pada berbagai tekanan pengompakan $2,93 - 5,27 \text{ ton/cm}^2$, yang dapat dilihat pada Gambar 3. Tampak bahwa kenaikan suhu sinter dari $1000 - 1200 \text{ }^\circ\text{C}$ dapat menaikkan besarnya diameter butir dari $2,00 - 7,00 \text{ }\mu\text{m}$ pada tekanan pengompakan $2,93 - 5,27 \text{ ton/cm}^2$. Dari spesifikasi besar butir pelet sinter yang ditetapkan, besar butir pelet sinter adalah $6,00 - 8,00 \text{ }\mu\text{m}$. Dari data yang ada, besar butir $6,00 - 8,00 \text{ }\mu\text{m}$ dapat dicapai pada suhu sinter $1200 \text{ }^\circ\text{C}$ dengan tekanan pengompakan pelet mentah antara $2,31 - 5,27 \text{ ton/cm}^2$. Besar butir yang diperoleh sekitar $6,00 - 7,00 \text{ }\mu\text{m}$ atau besar butir pelet sinter tertinggi dicapai pada suhu sinter $1200 \text{ }^\circ\text{C}$ pada tekanan pengompakan $4,10 \text{ ton/cm}^2$ adalah $7,09 \text{ }\mu\text{m}$.

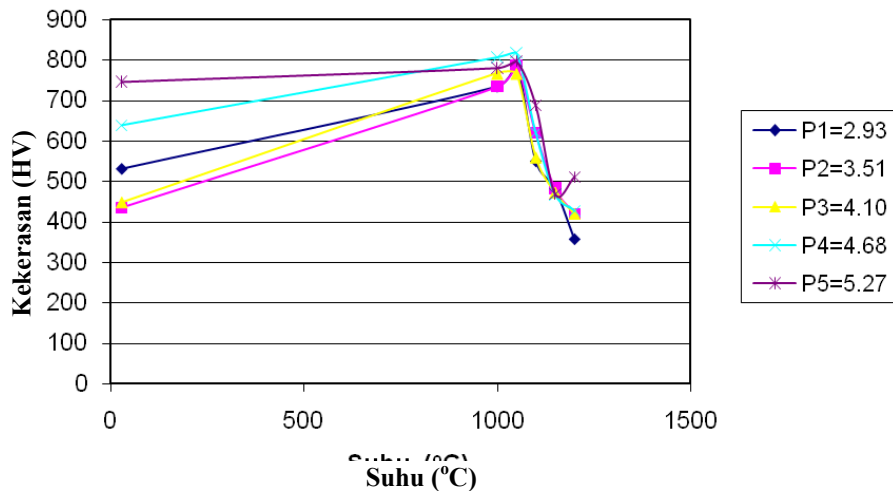


Gambar 3. Pengaruh suhu sinter terhadap besar butir pada berbagai tekanan pengompakan.

3.4. Optimasi Suhu Sinter yang Mempengaruhi Kekerasan pada Berbagai Tekanan Pengompakan (P)

Suhu sinter dari 1000 – 1200 °C dapat mempengaruhi besarnya kekerasan pelet sinter pada berbagai tekanan pengompakan 2,93 – 5,27 ton/cm². Data pengaruh suhu sinter terhadap kekerasan dapat ditunjukkan pada Gambar 4. Terlihat kenaikan suhu sinter menurunkan kekerasan pelet sinter yaitu mulai dari 800 – 400 HV. Tekanan terendah diperoleh pada suhu 1200 °C, sedangkan kekerasan tertinggi diperoleh pada suhu ~1000 °C pada tekanan pengompakan antara 4,68 – 5,27 ton/cm². Penurunan kekerasan diakibatkan bertambah besarnya diameter butir sehingga jumlah batas butir menjadi lebih rendah. Dengan demikian, gerakan dislokasi semakin mudah dan kekerasan pelet menjadi berkurang.

Dari spesifikasi teknis pelet sinter, tidak ditetapkan besarnya kekerasan. Di sini hanya disebutkan bahwa pelet harus cukup keras untuk menghindari kerusakan akibat pengangkutan, benturan, dan lainnya.

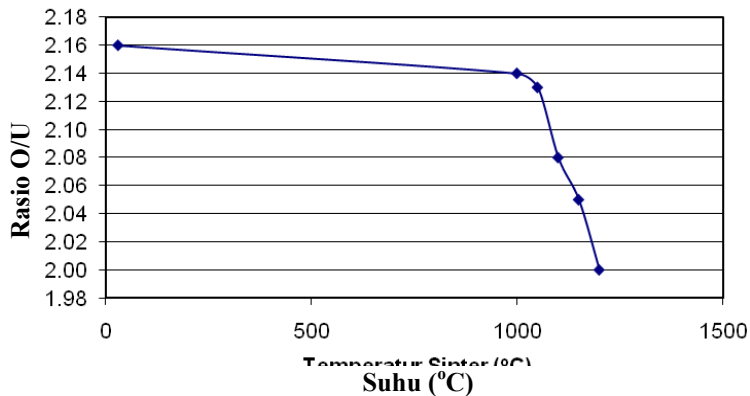


Gambar 4. Pengaruh suhu sinter terhadap kekerasan pelet (HV) pada berbagai tekanan pengompakan.

3.5. Optimasi Suhu Sinter yang Mempengaruhi Rasio O/U pada Berbagai Tekanan Pengompakan (P)

Suhu sinter dari 1000 – 1200 °C dapat mempengaruhi besarnya rasio O/U pelet sinter pada berbagai tekanan pengompakan 2,93 – 5,27 ton/cm². Data pengaruh suhu sinter terhadap rasio O/U dapat ditunjukkan pada Gambar 5. Terlihat kenaikan suhu sinter menurunkan rasio O/U pelet sinter yaitu mulai dari 2,14 – 2,00. Rasio O/U terendah yaitu 2,00 tercapai pada suhu 1200 °C. Sedangkan rasio O/U yang dipersyaratkan adalah $2,00 \pm 0,015$. Dari data tersebut dapat diketahui bahwa suhu sinter yang optimum agar memenuhi rasio O/U seperti yang dipersyaratkan adalah 1200 °C.

Kenaikan suhu sinter dapat menurunkan rasio O/U. Hal ini terjadi karena adanya pelepasan oksigen dari U_4O_9 akibat panas. Pelet yang menerima perlakuan pra-sinter pada suhu 300 °C selama 1 jam kemudian disinter pada suhu 1200 °C mempunyai rasio O/U lebih tinggi dari pelet tanpa pra-sinter kemudian disinter pada suhu 1200 °C. Hal ini dikarenakan pada saat pra-sinter terdapat kemungkinan terbentuknya U_3O_8 sehingga rasio O/U tetap tinggi yakni 2,16.



Gambar 5. Grafik pengaruh suhu sinter terhadap rasio O/U.

3.6. Optimasi Tekanan Pengompakan dan Suhu Sinter dalam Proses Pengompakan dan Sintering.

Dari Gambar 1, 2, 3, 4 dan 5 terlihat bahwa:

1. Tekanan pengompakan yang memenuhi persyaratan agar densitas pelet mentah 5,20 – 5,60% TD adalah pada tekanan pengompakan 3,50 – 5,27 ton/cm².
2. Optimasi suhu sinter pada berbagai tekanan pengompakan pelet mentah 2,93 – 5,27 ton/cm² untuk menghasilkan densitas pelet sinter 95% TD adalah pada suhu sinter 1050 – 1200 °C dan tekanan pengompakan pelet mentah 4,10 – 4,68 ton/cm².
3. Optimasi suhu sinter pada berbagai tekanan pengompakan pelet mentah untuk menghasilkan besar butir antara 6,00 – 8,00 µm terjadi pada suhu sinter 1200 °C dan tekanan pengompakan pelet mentah 4,68 ton/cm².
4. Optimasi suhu sinter pada berbagai tekanan pengompakan untuk mendapatkan kekerasan yang memenuhi persyaratan adalah pada suhu sinter 1000 – 1200 °C dengan kekerasan antara 800 – 400 HV.
5. Optimasi suhu sinter pada tekanan pengompakan 4,68 ton/cm² agar memenuhi rasio sebesar $2,00 \pm 0,015$ adalah pada suhu 1200 °C.

Dari poin 1, 2, 3, 4 dan 5 di atas, jika pada masing-masing grafik dibuat garis berskala kemudian dijumlahkan untuk memberikan pelet sinter yang memenuhi persyaratan, diperoleh parameter suhu 1200 °C dan tekanan 4,10 atau 4,68 ton/cm².

IV. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian, setelah dilakukan analisis data terhadap pelet sinter UO_2 serbuk halus 38 – 75 μm yang dikompaksi antara 2,93 – 5,27 ton/cm^2 dan disinter pada suhu 1000 – 1200 $^{\circ}\text{C}$ dalam suasana gas argon, laju pemanasan sintering 250 $^{\circ}\text{C/jam}$ dan waktu sinter 3 jam, maka dapat disimpulkan bahwa parameter proses yang memenuhi spesifikasi teknis pelet UO_2 sinter adalah:

1. Tekanan pengompakan 4,10 atau 4,68 ton/cm^2 .
2. Suhu sinter 1200 $^{\circ}\text{C}$ pada laju pemanasan 250 $^{\circ}\text{C/jam}$ dalam lingkungan gas argon dan waktu sinter 3 jam.

V. DAFTAR PUSTAKA

1. Abdel, M.S. & AZIM. (1994). Contribution of Fuel Element Fabrication of UO_2 Pelet using Lower Sintering Temperature. Journal of Nuclear Material, Kairo.
2. Benyamin, M. MA. (1983). Nuclear Reactor Material and Applications. Van Nostrand Reinhold, New York.
3. Fizzoti, C. (1984). Principles of Nuclear Production. ENEA/BATAN, Jakarta.
4. Gustaman, D.S., & Gandana. (1987). Pengaruh Ukuran Serbuk UO_2 terhadap Karakteristik Fisis Serbuk dan Pelet. Prosiding Seminar Teknologi Daur Bahan Bakar dan Keselamatan Nuklir, Bandung.
5. Rachmawati, M. (1997). Karakteristik Serbuk UO_2 (CAMECO) untuk Fabrikasi Pelet UO_2 Tipe CANDU. Prosiding Presentasi Ilmiah Daur Bahan Bakar dan Keselamatan Nuklir, BATAN, Jakarta.
6. Wijaksana, & Mutiara, E. (1997). Pengaruh Komposisi Serbuk Halus UO_2 terhadap Kerapatan Kompakan Serbuk Pelet UO_2 . Prosiding Presentasi Ilmiah Daur Bahan Bakar dan Keselamatan Nuklir, BATAN, Jakarta.

LAMPIRAN

Tabel 1. Pengaruh tekanan pengompakan terhadap densitas pelet mentah

No	Densitas pelet mentah (% TD) pada berbagai tekanan P (ton/cm ²)				
	P1 = 2,93	P2 = 3,51	P3 = 4,10	P4 = 4,68	P5 = 5,27
1.	51,25	52,27	53,00	54,27	55,18
2.	51,18	52,10	53,12	53,69	55,07
3.	51,03	52,02	53,04	53,74	55,50
4.	51,40	52,02	53,97	54,23	55,64
5.	51,17	51,99	53,17	53,88	55,57
6.	51,44	51,81	53,21	54,07	55,60
Rata-rata	51,24	52,04	53,09	53,97	55,43

Tabel 2. Pengaruh suhu sinter terhadap densitas pelet sinter pada berbagai tekanan pengompakan (P)

Suhu (°C)	Densitas pelet sinter (%TD), pada tekanan P (ton/cm ²)				
	P1 = 2,93	P2 = 3,51	P3 = 4,10	P4 = 4,68	P5 = 5,27
1000	92,92	93,56	93,63	94,07	93,58
1050	94,28	95,20	95,30	95,27	95,77
1100	94,46	94,66	94,95	95,45	95,66
1150	94,64	94,85	94,93	95,24	95,67
1200	94,85	95,09	95,49	95,72	96,19
Pra-sinter	95,71	93,95	94,14	94,68	95,33

Tabel 3. Pengaruh suhu sinter terhadap besar butir pada berbagai tekanan pengompakan (P)

Suhu (°C)	Besar butir (μm) pada berbagai tekanan P (ton/cm ²)				
	P1 = 2,93	P2 = 3,51	P3 = 4,10	P4 = 4,68	P5 = 5,27
1000	1,92	1,89	1,93	1,84	1,92
1050	2,70	2,50	2,70	2,43	2,47
1100	3,16	3,30	3,32	3,13	3,12
1150	4,74	5,07	5,14	4,41	4,11
1200	6,65	6,77	7,09	6,77	6,37
Pra-sinter	7,09	7,60	7,16	6,53	6,42

Tabel 4. Pengaruh suhu sinter terhadap kekerasan pelet (HV) pada berbagai tekanan pengompakan (P)

Suhu (°C)	Kekerasan pelet (HV) pada berbagai tekanan P (ton/cm ²)				
	P1=2,93	P2=3,51	P3=4,10	P4=4,68	P5=5,27
1000	733,70	733,7	766,3	806,5	779,6
1050	788,5	785,0	766,3	817,4	795,9
1100	549,9	618,6	559,8	620,1	687,5
1150	482,0	482,0	473,1	466,7	468,7
1200	357,8	419,3	420,8	427,3	509,9
Pra-sinter	531,1	434,6	449,0	638,6	745,3

Tabel 5. Pengaruh suhu sinter terhadap rasio O/U

Suhu sinter (°C)	Pra-sinter	1000	1050	1100	1150	1200
Rasio O/U	2,16	2,14	2,13	2,08	2,05	2,00